نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال چهاردهم، شماره ۳۵، زمستان ۹۳

# ویژگی‌های مارکوفی بارش‌های ایران

دریافت مقاله:۹۲/۱/۲۱ پذیرش نهایی: ۹۳/۵/۳
صفحات:۲۱۲-۱۹۷

**زهرا ماه آورپور:** کارشناس ارشد اقلیم شناسی دانشگاه اصفهان[1]
Email:zarrin_mah2010@yahoo.com

**چکیده**

**هدف از این پژوهش تحلیل و بررسی ویژگی دوره‌های خشک و مرطوب ایران با بهره‌گیری از یک مدل آماری پیش‌بینی موسوم به زنجیره‌ی مارکوف است. داده‌های این تحقیق از پایگاه داده‌ی اسفزاری است. این داده‌ها شامل ۷۱۸۷ پیکسل و مدت ۱۵۹۹۱ روز از ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ می‌باشد. با انجام آزمون خی‌دو برازش داده‌ها با مدل مرتبه‌ی اول زنجیره‌ی مارکوف دو حالته تأیید گردید. به دلیل کاربرد داده‌های یاخته‌ای و به منظور اطمینان بیشتر به صحت نتایج، آستانه‌ی ۰/۵ میلی‌متر برای تمایز یک روز مرطوب از روز خشک درنظر گرفته شد. ابتدا ماتریس فراوانی انتقالات تشکیل و سپس با روش حداکثر درست‌نمایی ماتریس احتمال انتقال ساخته شد. آنگاه با تعیین عناصر p (احتمال وقوع بارش) و q (احتمال عدم وقوع بارش) ویژگی‌های مارکوفی محاسبه شد. احتمالات ساده، ایستا و اقلیمی نیز در این نوشتار مقایسه گردید. دوره‌های بازگشت تری و خشکی و نیز دوره‌های بازگشت دو و سه روزه بارش محاسبه و نقشه‌های آن تهیه گردید. نتایج نشان داد برای تمامی ماه‌ها و فصول احتمال عدم وقوع بارش بیشتر است و برای هیچ یک از ماه‌های دوره‌ی مورد مطالعه فراوانی روزهای خشک کمتر از ۲۱ روز نیست. طولانی‌ترین دوره‌ی تر مورد انتظار برای ماه اسفند ۱/۹۹ روز و طولانی‌ترین دوره‌ی خشک مورد انتظار مربوط به تیر ماه با ۴۰/۳۲ روز است. چرخه‌ی هوایی زمستان نشان داد که بعد از هر ۵/۷۴ روز خشک، ۱/۹۷ روز مرطوب رخ خواهد داد.**

**کلید واژگان:** ماتریس، احتمال انتقال، زنجیره‌ی مارکوف، پایگاه داده اسفزاری، دوره‌ی بازگشت، ایران

---

[1]. **نویسنده مسئول:** اصفهان، بزرگراه خیام، کوی ناژوان، کوچه ۲۳( شهید دهقانی) بن بست صبا پلا ک ۳۸

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

**مقدمه**

ایران در جنوب غربی آسیا و برروی نوار خشک بیابانی دنیا قرار دارد. عرض جغرافیایی و موقعیت رشته کوه‌های البرز با جهت غربی،شرقی و رشته کوه‌های زاگرس با جهت شمال‌غربی به جنوب‌شرقی که از موانع بزرگ نفوذ بادهای باران‌آور به نواحی داخلی ایران می‌باشد، شرایط خشکی بر روی پهنه‌ی وسیعی از سرزمین ما را دوچندان کرده است. با توجه به سرشت تصادفی بارش، شناسایی مدلی که بتواند بارش آینده را پیش‌بینی کند برای آگاهی از منابع آب قابل بهره‌برداری، در آینده بسیار سودمند است. برای انجام هرنوع پیش‌بینی به‌طور کلی سه روش وجود دارد: ۱- پیش‌بینی به روش درون‌سو، که بر اساس تجربیات پیش‌بینی انجام می‌شود و روشی ذهنی است. ۲- پیش‌بینی‌های جبری بدست آمده از مدل‌های عددی پیش‌بینی هوا، که روشی برون‌سو و عینی است. ۳- پیش‌بینی‌های آماری که آن هم جزء روش‌های برون سو و عینی است (Cazacioc & Cipu, 2004: 82). زنجیره‌ی مارکوف از مدل‌های آماری است که بارش را در یک زمان کوتاه پیش‌بینی می‌کند. این مدل برای پیش‌بینی سریع آب و هوای آینده، با استفاده از داده‌های فعلی به‌کار برده می‌شود. در ایستگاه‌های هواشناسی از این تکنیک برای پیش‌بینی بارش در کوتاه مدت، استفاده می‌شود. بکارگیری داده‌های بارش روزانه بدست آمده از مشاهدات هواشناختی که به آن روش مستقیم می‌گویند، (مدل‌های عددی پیش‌بینی) بعضی از محدودیت‌ها را بوجود آورده است. این داده‌ها نیاز به سال‌های بسیار طولانی دارد و نیز هنگامی که بخواهند شرایط مورد نظر را تغییر بدهند واکاوی‌هایی که از همان ابتدا با داده‌های خام انجام می شود، دشوار است. به منظور گنجاندن اطلاعات کوتاه از بارش در واکاوی‌ها، باید روش‌های جایگزین را بکار برد. (مدل‌های آماری) این روش‌ها شامل مدل‌سازی بارش روزانه است که روش واکاوی غیرمستقیم نامیده می‌شود. در این رویکرد با استفاده از مدل‌های آماری حجم زیادی از داده‌ها را به طورخلاصه، از طریق مدل‌سازی بارش روزانه، با استفاده از زنجیره‌ی مارکوف انجام می‌دهند (Bekele, 2002: 35).

مدل زنجیره‌ی مارکوف توسط محققین زیادی برای پیش‌بینی بارش و عدم‌بارش با اهداف متفاوت به کار گرفته شده است؛ از آن جمله: Jamese & caskey (۱۹۶۳)، با استفاده از مقادیر احتمالات تجربی، رخداد بارش در فواصل زمانی مختلف را در دنور کلمبیا بررسی کردند و نشان دادند که مدل مرتبه‌ی اول زنجیره‌ی مارکوف با این مقادیر موافقت نزدیک دارد. بارش روزانه برای مدت ۲۵ سال در بیش از ۱۰۰ ایستگاه درConterminous ایالات متحده واکاوی شد. مرتبه‌ی اول را با استفاده از حداکثر درست نمایی مناسب‌تر یافته شد و نشان داد احتمالات شرطی بارش روزانه به فصل و موقعیت جغرافیایی ایستگاه بستگی دارد( Chin,

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

1977). میمیکو[1] (۱۹۸۳)، زنجیره‌ی مارکوف را برای مدل‌سازی بارش روزانه در یونان بکار برد. کلارک و کاراس[2] (۱۹۸۹)، از زنجیـره‌ی مارکوف دو حالته (مرتبه‌ی اول) با دو حالت خشک و تر، برای وقوع بارش و تغییرات ارتفاع بارش در یک موسم تر و تغییرات ارتفاع تبخیر و تعرق در یک موسم خشک استفاده کردند. هس[3](۱۹۹۰)، مدل زنجیره‌ی مارکوف را برای پیش‌گویی ساعتی در ۸ کلان شهر ایتالیا بکار برد. غلام‌نبی[4] و همکاران (۱۹۹۱)، به کمک زنجیره‌ی مارکوف احتمالات رخداد دوره‌های خشک (غیربارانی) و تر (بارانی) با آستانه‌ی ۱۰ میلی‌متر را در ایستگاه‌های فیصل‌آباد، اسلام آباد، لاهور و مور تحلیل کرده و نتیجه گرفتند که احتمال رخداد دوره‌های تردر فیصل آباد و لاهـور بیشتر از سایر ایسـتگاه‌هـا است. جیمو و وبـستر[5] (۱۹۹۶)، نـوسان‌هـای بـارش سالانه را با استفاده از زنجیرۀ مارکوف در ۷ منطقه‌ی نیجریه بررسی کردند. رضیئی وهمکاران (۱۳۸۲)، در پژوهشی به پیش‌بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌ها با استفاده از روش‌های احتمالاتی، سری‌های زمانی و زنجیره‌ی مارکوف در استان سیستان و خشکسالی و دوره‌های خشک کوتاه مدت در استان خراسان پرداختند. طاوسی و همکاران (۱۳۸۹)، خشکسالی‌ها و روند دوره‌های خشک کوتاه مدت ایرانشهر را در سال‌های ۱۳۵۹ تا ۱۳۸۵ با استفاده از زنجیره‌ی مارکوف بررسی کردند. هدف از این پژوهش تحلیل رفتارهای اقلیمی بارش در ایران و پیش بینی آن با استفاده از مدل زنجیرۀ مارکوف است.

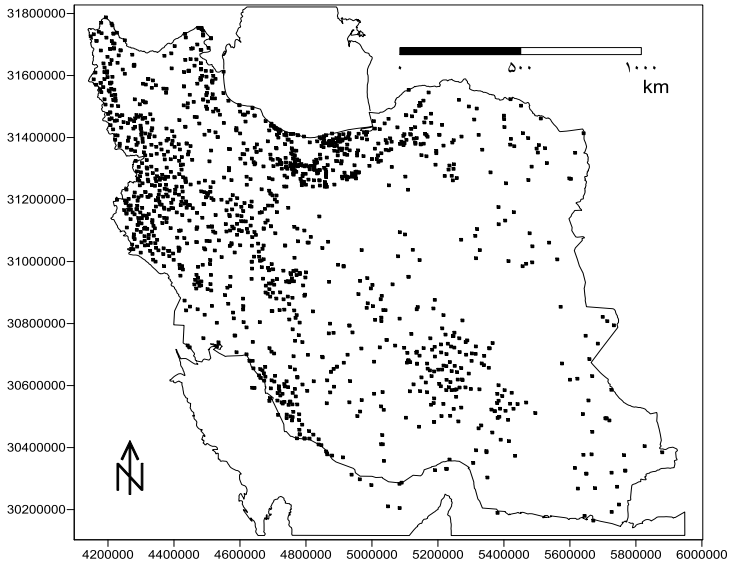
## داده‌های پژوهش

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه بر اساس رخداد و رخنداد بارش با آستانه‌ی ۰/۵ میلی‌متر (بدون توجه به مقادیر بارش) وتنها به استناد وقوع یا عدم وقوع بارش برای ۱۵۹۹۱ روز (حدود ۴۳ سال) از ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۳/۱۰/۱۱ می‌باشد. چون روش مطالعه در این پژوهش روشی کمی (احتمالاتی) و متکی بر وقوع و عدم وقوع یک فرآیند تصادفی (بارش) است، این داده‌ها برحسب آستانه به کد صفر و یک تبدیل شده‌اند. داده‌های تهیه شده مبتنی

[1]. Mimiko
[2]. Clark & Karas
[3]. Hess
[4]. Ghulam-Nabi
[5]. Jimoh & Webster

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

بر پایگاه داده‌ی اسفزاری[۱] از بانک اطلاعاتی سازمان هواشناسی کشور می‌باشد. برای مدل سازی مارکوفی باید طول دوره‌ی آماری (بارش روزانه) حداقل ۲۰ سال باشد، بنابر این داده‌های مورد نیاز با دقت کافی برای انجـام این کار موجود بوده است. داده ها مربوط به ۱۴۳۷ ایستگاه همدید، باران سنجی و اقلیم شناسی می باشد (شکل ۱). این داده ها با روش میان یابی کریجینگ در پایگاه دادهٔ اسفزاری با تفکیک مکانی ۱۵×۱۵ کیلومتر میان یابی شده و کنترل کیفی بروی داده ها صورت گرفته است.




**شکل(۱) پراکنش ۱۴۳۷ ایستگاه در ایران**

## روش تحقیق

فرآیندهایی که در نتیجه‌ی پیش‌آمدهای تصادفی مؤثر بر یک سیستم با زمان نوسان می‌کنند، فرآیندهای تصادفی نامیده می‌شوند. فرآیند تصادفی که در ویژگی مارکوف صدق‌کند، فرآیند مارکوف می‌نامند. چنین فرآیندهایی را زنجیره‌ی مارکوف نیز می‌نامند. این اصطلاح به این حقیقت که هر برآمد به برآمد قبل از خودش وابسته است اشاره دارد (هیگنز، مکنالتی

[۱]. در ایران پایگاه داده شبکه‌ای برای سنجه‌های هواشناسی نظیر دما، بارش و رطوبت جوی و برخی عناصر اقلیمی دیگر توسط مسعودیان تهیه شده است. این پایگاه داده به افتخار اقلیم‌شناس برجسته ایرانی حکیم ابوحاتم اسفزاری نامگذاری شده است.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

۱۳۷۹ :۱۶۵-۱۶۷). فرآیند مارکوف فرآیندی است که در آن اگر زمان را به سه دوره‌ی «گذشته، حال و آینده » تقسیم شود.آینده‌ی» این فرآیند بستگی به مسیری که در «گذشته» طی کرده است، ندارد و تنها به موقعیت آن در زمان «حال» وابسته است. به عبارت دیگر، چنانچه وضعیت فرآیند در لحظاتی مانند $t_1, t_2, ...., t_n$ مشخص باشد، می‌توان گفت که برای پیش‌بینی حرکت آینده‌ی این فرآیند، تنها آخرین اطلاعات، یعنی وضعیت فرآیند در لحظه‌ی $t_n$ کافی است. این به خاصیت مارکوفی معروف است. برای کاربرد زنجیره‌ی مارکوف می‌توان از مرتبه‌های مختلف زنجیره استفاده کرد. یک رشته از متغیرهای تصادفی $X_1 , X_2 ,.....X_n$ را زنجیره‌ی مارکوف می‌نامند، اگر بازاء تمام مقادیر $n$ (مرحله) و تمام حالت‌های $i$ و $j$ روابط زیر برقرار باشد:

رابطه (۱)

$$P_{ij} = Pr ( X_{t+1} = j \mid X_t = i), \qquad i, j = 0,1$$
$$P_{hij} = Pr ( X_{t+1} = j \mid X_t = i , X_{t-1} = h), \qquad h, i, j = 0,1$$

$$P_{ghij} = pr ( X_{t+1} = j \mid X_t = i , X_{t-1} = h , X_{t-2} = g ), \quad g, h, i, j = 0,1$$

(کازاسیوک و سیپو[1]، ۲۰۰۴: ۸۳-۸۴). در پژوهش‌هایی که بروی فرآیندهای تصادفی با روش زنجیره‌ی مارکوف انجام می‌شود، تعیین مرتبه‌ی مناسب از زنجیره بسیار مهم است. محققین به دو دلیل مرتبه‌ی کمترِ زنجیره‌ی مارکوف را ترجیح می‌دهند: اول اینکه تعداد پارامترهایی که برآورد می‌شود، حداقل هستند. دوم اینکه استفاده‌های بعدی از مدل برازش شده برای محاسبه‌ی دیگر کمیت‌ها همانند احتمالات طول دوره‌ی خشک ساده‌تر هستند (سلوی و سلوارج[2]، ۵۳:۲۰۱۰). تحقیقاتی که تاکنون با استفاده از زنجیره‌ی مارکوف انجام شده، نشان داده است که این روش مدل بسیار مناسبی برای تعیین ساختار مشاهدات وابسته است، بویژه مشخص شده که این مدل در بررسی‌های مربوط به خشکسالی‌ها برای مناطقی از جهان که دارای یک فصل خشک و یک فصل بارانی می‌باشند، کارایی بالایی دارد (گابریل و نیومن[3]، ۲۲۸:۱۹۶۲).

[1]. Cazacioc & Cipu
[2]. Selvi & Selvar
[3]. Gabriel & Newman

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

در این پژوهش مدل زنجیره‌ی مارکوف مرتبه‌ی اولِ دو حالته برای محاسبه‌ی ویژگی‌های مارکوفی بارش‌های ایران بکار برده شده است. ابتدا با انجام آزمون خی دو پیروی فراوانی حالات از زنجیره‌ی مارکوف دو حالته تأیید گردید. سپس با ساخت آرایه احتمال انتقال به روش حداکثر درست‌نمایی پیش‌بینی‌ها و محاسبه‌ی دیگر ویژگی‌های مارکوفی انجام گردید. ویژگی‌های مارکوفی محاسبه شده در این پژوهش (جدول ۱) از روابطی به شرح زیر بدست آمده‌اند:

- احتمال اقلیمی دوره‌های تر و خشک: احتمالات اقلیمی نشان می‌دهد چند درصد دوره‌ی مورد مطالعه خشک و چند درصد تر است و از رابطه‌های زیر بدست می‌آید:

رابطه (۲)

$$\pi_0 = \frac{q}{p+q} \qquad \pi_1 = \frac{p}{p+q}$$

$\pi_0$= احتمال ساکن وقوع روز خشک

$\pi_1$= احتمال ساکن وقوع روز تر

P وq = درایه‌های آرایه‌ی احتمال انتقال

- فراوانی وقوع روزهای تر و خشک: در واقع تعیین میانگین روزهای تر و خشک هر ماه یا فصل است ( تعداد روزهای تر و خشک) و با کمک روابط زیر بدست می‌آید:

رابطه (۳)

$$r_0 = n * \pi_0 \qquad r_1 = n * \pi_1 = n - r_0$$

$r_0$= فراوانی وقوع، تعداد روزهای خشک هرماه یا فصل

$r_1$ = فراوانی وقوع تعداد روزهای تر هرماه یا فصل

n = تعداد روزهای هر ماه یا فصل

- طول دوره‌ی تر و خشک و چرخه‌ی هوایی: طول دوره‌ی تر و خشک از روابط زیر بدست می‌آید:

رابطه (۴)

$$E_0 = \frac{1}{p} \qquad E_c = E_0 + E_1$$

$$E_1 = \frac{1}{q}$$

$E_1$= طول دوره ی تر مورد انتظار

$E_0$= طول دوره‌ی خشک مورد انتظار

$E_c$= چرخه‌ی هوایی برای هر دوره

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

( Wilks،1995). بعد از محاسبه‌ی طول دوره‌های تر و خشک با جمع کردن آن‌ها می‌توان چرخه‌ی هوایی را برای دوره‌ی مورد نظر بدست آورد. هدف از تعیین چرخه‌ی هوایی مشخص کردن مجموع دوره‌های شاخص متوالی دوره‌ی تر با بارندگی ۰/۵ میلی‌متر و بیشتر در روز و دوره‌ی خشک بدون بارندگی یا کمتر از ۰/۵ میلی‌متر در روز است. در واقع چرخه‌ی (سیکل) هوایی مجموع یک دوره‌ی خشک و یک دوره‌ی تر متوالی است.

- محاسبه‌ی عناصر P رخداد و q رخنداد بارش: برای انجام محاسبات عناصر p رخداد بارش و q رخنداد بارش از آرایه‌ی احتمال انتقال به شرح زیر مشخص شده‌اند:

$$P = \begin{bmatrix} p_{۱۱} & p_{۱۰} \\ p_{۰۱} & p_{۰۰} \end{bmatrix}$$

$$p_{10} = \frac{n_{10}}{n_{10} + n_{11}} = p_{11} = 1 - p_{10}$$

$$p_{01} = \frac{\quad}{n_{01} + n_{00}} = p_{00} = 1 - p_{01}$$

$$P = \begin{bmatrix} ۱ - q & q \\ p & ۱ - p \end{bmatrix} \qquad \begin{matrix} q = ۱۰ \\ p = ۰۱ \end{matrix}$$ رابطه ( ۵ )

آرایه فوق یک آرایه‌ی احتمال است، بنابراین هر سطر آن تشکیل یک بردار احتمال را می‌دهد، پس برای تعیین این آرایه تعیین یک درایه از هر سطر کافی است(طاوسی و همکاران، ۳۴:۱۳۸۹).

- دوره‌ی برگشت دوره‌های تر و خشک با تداوم $m$ روزه: برآورد دوره‌ی برگشت بارش‌ها با تداوم $m$ روزه از توانایی‌های دیگر مدل زنجیره‌ی مارکوف است و از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید(برگر و گوسنس[1]، ۱۹۸۳: ۳۳). در این رابطه $p$ احتمال (پایای) بارش درماه یا فصل مورد نظر(ستون سوم جدول۲)، $m$ دوره‌ی بارش مورد نظر طی $m$ روز، $Tm$ دوره‌ی بازگشت بارش$m$ روزه است. با قرار دادن مقادیر ۲ و ۳ به ازای $m$ ، طول دوره‌ی بازگشت بارش با تداوم‌های ۲ و ۳ روزه برای هر ماه، فصل و سالانه در نرم‌افزار متلب محاسبه شده و نقشه‌ها در نرم‌افزار سرفر ترسیم گردیده و در ادامه ارائه شده است.

[1]. Berger & Goossens

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

رابطه (۶)
$$T_m = \frac{1}{p^{m-1}(1-p)}$$

**یافته‌های پژوهش**

در این پژوهش با اعمال مدل زنجیره‌ی مارکوف مرتبه‌ی اول برروی بارش‌های روزانه‌ی ایران ویژگی‌های مارکوفی بارش‌های ایران بررسی و تحلیل شد و نتایج زیر بدست آمد:

ستون سوم (جدول ۱) نشان می‌دهد بیشترین تعداد روز تر ماهانه به ترتیب مربوط به ماه‌های بهمن ۷/۹ روز، اسفند ۷/۸ روز، فروردین ۷/۵ روز می‌باشد. بیشترین فراوانی روزهای خشک نیز به ترتیب به ماه‌های شهریور ۳۰/۱۱ روز، تیر ۳۰/۰۳ روز و مرداد ۳۰/۰۲ روز مربوط است. فراوانی روزهای تر به ترتیب فصول دوره‌ی مورد مطالعه برای زمستان ۲۳ روز، بهار ۱۴/۹ روز، پاییز ۱۱/۳۶ روز و تابستان ۲/۸۶ روز است. همانگونه که فراوانی روزهای تر و خشک نشان می‌دهد برای هیچیک از ماه‌های دوره‌ی مورد مطالعه فراوانی روزهای خشک کمتر از ۲۱ روز نیست به عبارت دیگر بیش از دو سوم روزهای هر ماه خشک است که این موقعیت بحرانی کشور را از نظر منابع آب نشان می‌دهد.

ستون چهارم از جدول فوق امید ریاضی یا طول دوره‌های تر و خشک مورد انتظار را برای هر ماه، فصل و سالانه نشان می‌دهد. طولانی‌ترین دوره‌ی تر مورد انتظار ماهانه برای ماه‌های اسفند ۱/۹۹، بهمن ۱/۹۷ و فروردین ۱/۹۴ روز می‌باشد. طولانی‌ترین دوره خشک مورد انتظار نیز مربوط به ماه‌های شهریور ۴۲/۰۱، تیر ۴۰/۳۲، مرداد ۴۰ روز است. برای فصول نیز طولانی‌ترین دوره‌های تر مورد انتظار به ترتیب مربوط به زمستان ۱/۹۷، بهار ۱/۸۵، پاییز ۱/۷، تابستان ۱/۳ و طولانی‌ترین دوره‌های خشک برای تابستان ۴۱/۳۲، پاییز ۱۲/۳۹، بهار ۹/۷۳ و زمستان ۵/۷۴ روز است. چرخه یا سیکل هوایی که جمع روزهای تر و خشک است، ستون پنجم (جدول ۱)، بیشینه را برای ماه‌های شهریور، تیر و مرداد به ترتیب با ۴۳/۲۵، ۴۱/۶۲، ۴۱/۳ روز تعیین می‌کند. کمینه‌ی چرخه‌ی هوایی ماهانه به ترتیب برای ماه‌های اسفند، بهمن و فروردین با ۷/۴، ۷/۴۷، ۸ روز است. چرخه‌ی هوایی فصول نیز برای زمستان ۷/۷۱، بهار ۱۱/۵۸، پاییز ۱۴/۰۹ و تابستان ۴۲/۶۲ روز است. هدف از واکاوی چرخه یا سیکل هوایی نشان دادن مدت توالی دوره‌های تر و خشک است، مثلاً چرخه‌ی هوایی زمستان بیان می‌کند که بعد از هر ۵/۷۴ روز خشک، ۱/۹۷ روز مرطوب رخ خواهد داد. و هر ۷/۷۱ روز این پدیده تکرار خواهد شد. و برای تابستان بعد از هر ۴۱/۳۲ روز خشک، ۱/۳ روز مرطوب رخ می‌دهد و این رخداد هر ۴۲/۶۲ روز تکرار می‌شود. در جدول (۲) احتمالات ساده همان توزیع احتمال اولیه است و از تقسیم روزهای بارش و بدون بارش هر ماه یا فصل به تعداد روزهای همان ماه یا فصل برای کل دوره‌ی

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

آماری بدست می‌آید. احتمالات ایستا نیز پس از آن‌که آرایه‌ی احتمال انتقال مکرر به توان رسید حاصل می‌شود و بیانگر پایداری شرایط با احتمال بدست آمده برای مدت زمان طولانی (پیش‌بینی دراز مدت) است. احتمالات اقلیمی نیز نشان می‌دهد چند درصد دوره‌ی مورد مطالعه مرطوب و چند درصد خشک است. محاسبات جدول ۲ نشان می‌دهد احتمالات مارکوفی در مقایسه با احتمالات اولیه (توزیع اولیه هنگام شروع فرآیند)، برای ماه‌های فروردین، مهر، آذر، دی، کاهش احتمال بارش و افزایش احتمال بدون بارش را در طولانی مدت پیش‌بینی می‌کند. و برای ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، آبان، بهمن و اسفند افزایش احتمال بارش و کاهش احتمال بدون بارش را پیش‌بینی می‌کند. برای فصول بهار و زمستان، کاهش احتمال بارش و افزایش احتمال بدون بارش، و برای فصول تابستان و پاییز افزایش احتمال بارش و کاهش احتمال بدون بارش را پیش‌بینی می‌کند.

**جدول ۱) ویژگی‌های دوره‌های بارش و بدون بارش بر پایه‌ی احتمالات مارکوفی**

| | احتمالات اقلیمی | | فراوانی روزها | | طول دوره ها | | چرخه‌ی هوایی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| دوره | $\Pi_1$ | $\Pi_0$ | $R_1$ | $R_0$ | $E_1$ | $E_0$ | $EC$ |
| فروردین | ۰/۲۴۲۶ | ۰/۷۵۷۴ | ۷/۵ | ۲۳/۵ | ۱/۹۴ | ۶/۰۶ | ۸ |
| اردیبهشت | ۰/۱۷۴۲ | ۰/۸۲۵۸ | ۵/۴ | ۲۵/۶ | ۱/۷۸ | ۸/۴۸ | ۱۰/۲۶ |
| خرداد | ۰/۰۶۰۷ | ۰/۹۳۹۳ | ۱/۹ | ۲۹ /۱ | ۱/۴۳ | ۲۲/۱۷ | ۲۳/۶ |
| تیر | ۰/۰۳۱۱ | ۰/۹۶۸۹ | ۰/۹۷ | ۳۰/۰۳ | ۱/۳ | ۴۰/۳۲ | ۴۱/۶۲ |
| مرداد | ۰/۰۳۱۶ | ۰/۹۶۸۴ | ۰/۹۸ | ۳۰/۰۲ | ۱/۳ | ۴۰ | ۴۱/۳ |
| شهریور | ۰/۰۲۸۷ | ۰/۹۷۱۳ | ۰/۸۹ | ۳۰/۱۱ | ۱/۲۴ | ۴۲/۰۱ | ۴۳/۲۵ |
| مهر | ۰/۰۵۵۹ | ۰/۹۴۴۱ | ۱/۶۸ | ۲۸/۳۲ | ۱/۴۳ | ۲۴/۲۷ | ۲۵/۷ |
| آبان | ۰/۱۲۵۷ | ۰/۸۷۴۳ | ۳/۷۷ | ۲۶/۲۳ | ۱/۷ | ۱۱/۹۱ | ۱۳/۶۱ |
| آذر | ۰/۱۹۳۶ | ۰/۸۰۶۴ | ۵/۸ | ۲۴ /۲ | ۱/۸۷ | ۷/۸۱ | ۹/۶۸ |
| دی | ۰/۲۳۶۵ | ۰/۷۶۳۵ | ۷/۱ | ۲۲/۹ | ۱/۹ | ۶/۱۴ | ۸/۰۴ |
| بهمن | ۰/۲۶۳۵ | ۰/۷۳۶۵ | ۷/۹ | ۲۲/۱ | ۱/۹۷ | ۵/۵ | ۷/۴۷ |
| اسفند | ۰/۲۶۸۸ | ۰/۷۳۱۲ | ۷/۸ | ۲۱/۲ | ۱/۹۹ | ۵/۴۱ | ۷/۴ |
| بهار | ۰/۱۵۹۸ | ۰/۸۴۰۲ | ۱۴/۹ | ۷۸/۱ | ۱/۸۵ | ۹/۷۳ | ۱۱/۵۸ |
| تابستان | ۰/۰۳۰۷ | ۰/۹۶۹۳ | ۲/۸۶ | ۹۰/۱۴ | ۱/۳ | ۴۱/۳۲ | ۴۲/۶۲ |
| پاییز | ۰/۱۲۶۳ | ۰/۸۷۳۷ | ۱۱/۳۶ | ۷۸/۶۴ | ۱/۷ | ۱۲/۳۹ | ۱۴/۰۹ |
| زمستان | ۰/۲۵۵۹ | ۰/۷۴۴۱ | ۲۳ | ۶۷ | ۱/۹۷ | ۵/۷۴ | ۷/۷۱ |
| سالانه | ۰/۱۴۱۹ | ۰/۸۵۸۱ | ۵۲ | ۳۱۳ | ۱/۸۹ | ۱۱/۴۵ | ۱۳/۳۴ |

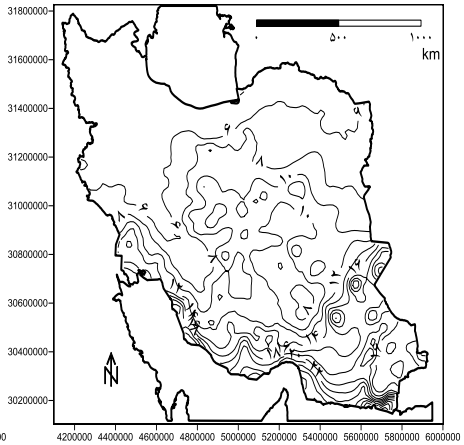
[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

برای فصول بهار و زمستان، کاهش احتمال بارش و افزایش احتمال بدون بارش، و برای فصول تابستان و پاییز افزایش احتمال بارش و کاهش احتمال بدون بارش را پیش‌بینی می‌کند. مدل مارکوف برای دوره‌ی سالانه احتمال بارش را نسبت به احتمال اولیه (۰/۱۴۴۹۸۶) در حال کاهش (۰/۱۴۴۹۵۶) و احتمال بدون بارش را نسبت به احتمال اولیه (۰/۸۵۵۰۱۴)، در حال افزایش (۰/۸۵۵۰۴۴) پیش‌بینی می‌کند. در این پژوهش نقشه‌های دوره‌ی بازگشت تری، بازگشت دو روزه و سه روزه بارش برای تمام ماه‌ها، فصول و سالانه تهیه گردید به منظور مقایسه و تحلیل، نقشه‌های دوره‌ی بازگشت دو روزه و سه روزه بارش بهار، تابستان، پاییز، زمستان، و نقشه‌های سالانه ( شکل‌های ۲ تا ۱۱) ارائه گردیده است.

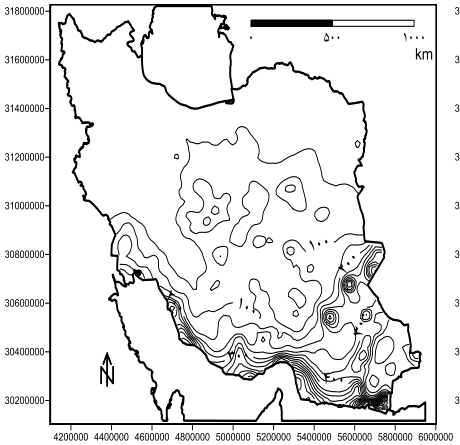
**جدول ۲) محاسبه‌ی احتمالات اولیه، ایستا، اقلیمی**

| | احتمالات ساده | | احتمالات ایستا | | احتمالات اقلیمی | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| دوره | $p_w$ | $p_d$ | $p_w$ | $p_d$ | $p_w$ | $p_d$ |
| فروردین | ۰/۲۴۴۲۹۹ | ۰/۷۵۵۷۰۱ | ۰/۲۴۴۰۲۷ | ۰/۷۵۵۹۷۳ | ۰/۲۴۲۵۰۴ | ۰/۷۵۷۴۹۶ |
| اردیبهشت | ۰/۱۷۷۸ | ۰/۸۲۲۲ | ۰/۱۷۷۹۵۶ | ۰/۸۲۲۰۴۴ | ۰/۱۷۴۱۲۵ | ۰/۸۲۵۸۷۵ |
| خرداد | ۰/۰۶۴۵۳۴ | ۰/۹۳۵۴۶۶ | ۰/۰۶۴۵۹۶ | ۰/۹۳۵۴۰۴ | ۰/۰۶۰۷۰۵ | ۰/۹۳۹۲۹۵ |
| تیر | ۰/۰۳۵۲۲۸ | ۰/۹۶۴۷۷۲ | ۰/۰۳۶۲۵۵ | ۰/۹۶۳۷۴۵ | ۰/۰۳۱۱۳۵ | ۰/۹۶۸۸۶۵ |
| مرداد | ۰/۰۳۴۹۷۲ | ۰/۹۶۵۰۲۸ | ۰/۰۳۵۱۴۸ | ۰/۹۶۴۸۵۲ | ۰/۰۳۱۶۲۸ | ۰/۹۶۸۳۷۲ |
| شهریور | ۰/۰۳۳۷۵۸ | ۰/۹۶۶۲۴۲ | ۰/۰۳۴۱۱۱ | ۰/۹۶۵۸۸۹ | ۰/۰۲۸۶۷۱ | ۰/۹۷۱۳۲۹ |
| مهر | ۰/۰۶۲۷۵۹ | ۰/۹۳۷۲۴۱ | ۰/۰۶۲۷۱۷ | ۰/۹۳۷۲۸۳ | ۰/۰۵۵۸۸۷ | ۰/۹۴۴۱۱۳ |
| آبان | ۰/۱۳۳۰۰۴ | ۰/۸۶۶۹۹۶ | ۰/۱۳۳۱۴۹ | ۰/۸۶۶۸۵۱ | ۰/۱۲۵۷۶۸ | ۰/۸۷۴۲۳۲ |
| آذر | ۰/۱۹۷۷۱۸ | ۰/۸۰۲۲۸۲ | ۰/۱۹۷۵۵۳ | ۰/۸۰۲۴۴۷ | ۰/۱۹۳۶۱۷ | ۰/۸۰۶۳۸۳ |
| دی | ۰/۲۳۹۳۲۷ | ۰/۷۶۰۶۷۳ | ۰/۲۳۹۱۴۵ | ۰/۷۶۰۸۵۵ | ۰/۲۳۶۵۱۷ | ۰/۷۶۳۴۸۳ |
| بهمن | ۰/۲۶۵۲۹۸ | ۰/۷۳۴۷۰۲ | ۰/۲۶۵۳۶۶ | ۰/۷۳۴۶۳۴ | ۰/۲۶۳۵۳۲ | ۰/۷۳۶۴۶۸ |
| اسفند | ۰/۲۷۰۶۰۱ | ۰/۷۲۹۳۹۹ | ۰/۲۷۰۸۲ | ۰/۷۲۹۱۸ | ۰/۲۶۸۸۲۲ | ۰/۷۳۱۱۷۸ |
| بهار | ۰/۱۶۲۲۱۱ | ۰/۸۳۷۷۸۹ | ۰/۱۶۲۰۸۳ | ۰/۸۳۷۹۱۷ | ۰/۱۵۹۸۶۹ | ۰/۸۴۰۱۳۱ |
| تابستان | ۰/۰۳۴۶۵۳ | ۰/۹۶۵۳۴۷ | ۰/۰۳۴۶۶۳ | ۰/۹۶۵۳۳۷ | ۰/۰۳۰۷۶۹ | ۰/۹۶۹۲۳۱ |
| پاییز | ۰/۱۳۱۱۶ | ۰/۸۶۸۸۴ | ۰/۱۳۱۱۹ | ۰/۸۶۸۸۱ | ۰/۱۲۶۲۷۱ | ۰/۸۷۳۷۲۹ |
| زمستان | ۰/۲۵۸۲۵۴ | ۰/۷۴۱۷۴۶ | ۰/۲۵۸۱۹۶ | ۰/۷۴۱۸۰۴ | ۰/۲۵۵۹۹۵ | ۰/۷۴۴۰۰۵ |
| سالانه | ۰/۱۴۴۹۸۶ | ۰/۸۵۵۰۱۴ | ۰/۱۴۴۹۵۶ | ۰/۸۵۵۰۴۴ | ۰/۱۴۱۹۹۷ | ۰/۸۵۸۰۰۳ |

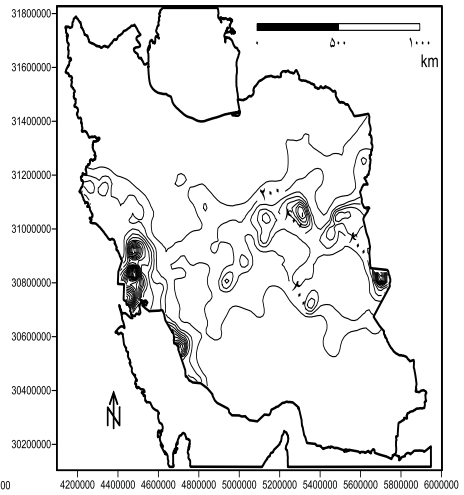
[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]



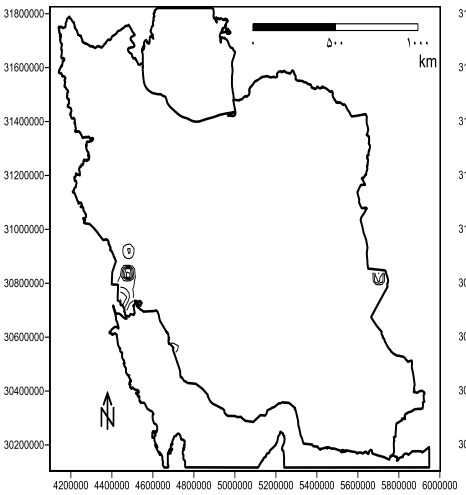

شکل (۲) دوره‌ی بازگشت دو روزه بارش بهار




شکل (۳) دوره‌ی بازگشت سه روزه بارش بهار




شکل (۴) دوره‌ی بازگشت دوروزه بارش تابستان

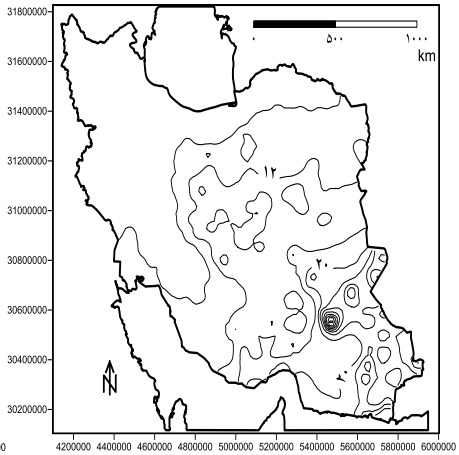



شکل (۵) دوره‌ی بازگشت سه روزه بارش تابستان

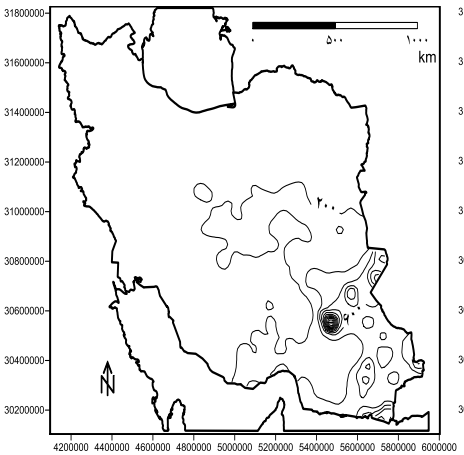
نقشه‌های فصل بهار نشان می‌دهد بارش‌های متوالی دو روزه از شمال کشور تا کوهپایه‌های جنوبی البرز و زاگرس مرطوب، ۶ روز دوره‌ی بازگشت دارد، به تدریج افزایش یافته و در جنوب‌شرقی به ۳۴ روز می‌رسد. این مسیر برای بارش‌های سه روزه افزایش بسیار زیادتری را نشان می‌دهد. تابستان فصل تقریباً خشک کشور است. دوره‌ی بازگشت دو روزه کمربندی با شیب نسبتاً زیاد خطوط از غرب به شرق کشور، بخش شمالی را از جنوب جدا می‌کند. احتمال بارش‌های متوالی دو روزه در این مناطق بسیار کم و حتی برای بارش‌های سه روزه بسیار

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

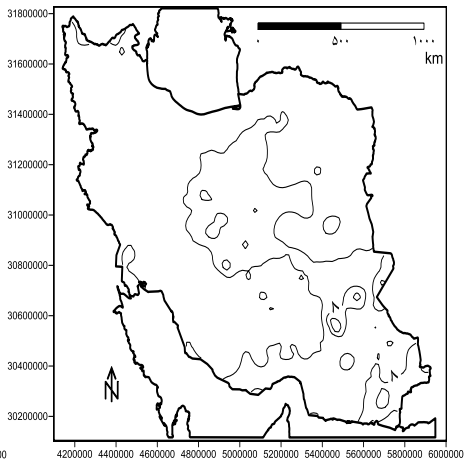
نامحتمل است. بویژه حوالی دریاچه‌ی هامون در شرق و جلگه‌ی خوزستان در غرب و منطقه‌ی محدودی در سواحل خلیج فارس بارش‌هایی با توالی سه روزه تقریباً غیر ممکن به نظر می‌رسد.



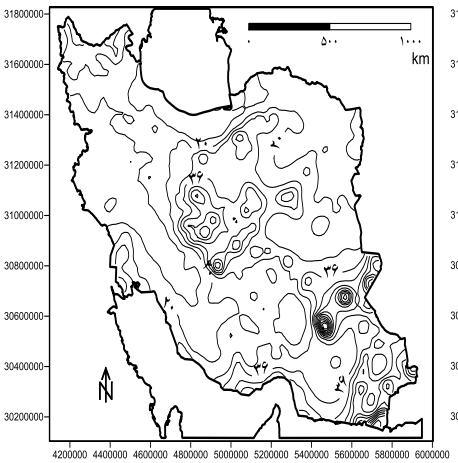

شکل ۶) دوره‌ی بازگشت دو روزه بارش پاییز




شکل ۷) دوره‌ی بازگشت سه روزه بارش پاییز




شکل ۸) دوره‌ی بازگشت دو روزه‌ی بارش زمستان

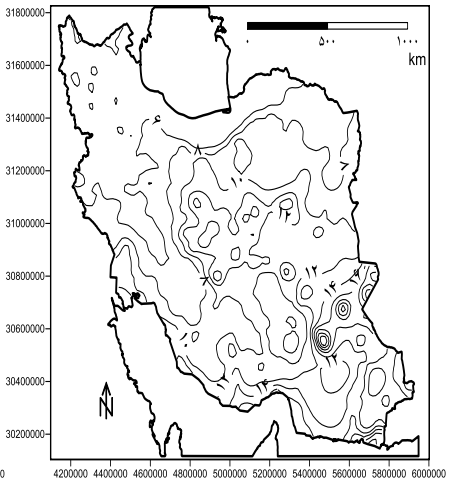



شکل ۹) دوره‌ی بازگشت سه روزه‌ی بارش زمستان

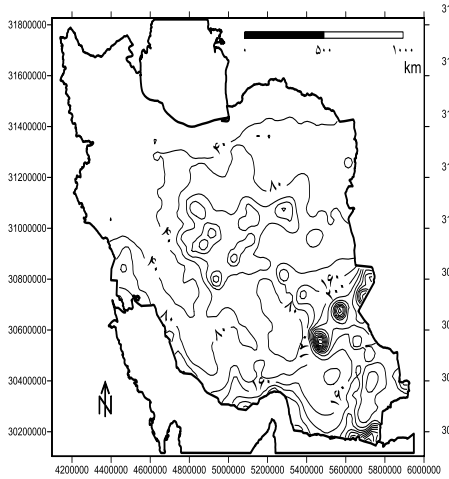
در فصل پاییز منحنی ۸ روز برای دوره‌ی بازگشت دو روزه از گوشه‌ی شمال‌شرقی آغاز و پس از عبور از کوهپایه‌های جنوبی البرز و دامنه‌های شرقی زاگرس به غرب می‌رسد. تمامی مناطق شمال این خط دوره‌ی برگشت ۸ روزه دارند و به سمت جنوب‌شرق بتدریج تعداد روزها زیادتر

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

شده و بالغ بر ۳۲ روز می‌شود. اما در مرکز دشت لوت ۴۸ روز را نشان می‌دهد. دوره‌ی سه روزه از شمال کشور تا مرکز ۲۰۰ روز را مشخص می‌کند و به سمت جنوب‌شرق بیشتر شده و ۱۴۰۰ روز را تعیین می‌کند. سواحل خلیج‌فارس ۲۰۰ روز دوره‌ی بازگشت سه روزه دارند. زمستان کوتاه‌ترین دوره‌ی بازگشت دو روزه و سه روزه را برای تمام کشور داراست. در نقشه‌ی دوره‌ی بازگشت دو روزه‌ی این فصل کشور به دو قسمت تقسیم شده است. بخش مرکزی، جنوب‌شرقی و بقیه‌ی نقاط کشور. بخش مرکز و جنوب‌شرق دوره‌ی بازگشت ۶ تا ۸ روز دارد و سایر نقاط ۶ روز. چون زمستان پر بارش‌ترین فصل سال برای نواحی بیابانی و نیم‌بیابانی است. توالی بارش‌های سه روزه ناهماهنگی‌های زیادی برای تمام کشور نشان می‌دهد. شیب زیاد منحنی های هم‌دوره در همه جای کشور بیانگر آن است که شرایط محلی نقش تعیین کننده‌تری برای دوره‌ی بازگشت بارش‌های سه روزه دارد. حداقل این مدت ۱۲ روز در کوه‌های البرز و زاگرس است. و در سایر مناطق کشور هر کجا توده‌ی کوهستانی وجود داشته باشد این تعداد روز کاهش پیدا کرده و در بقیه‌ی مناطق افزایش می‌یابد. حداکثر این دوره برای دشت لوت با شیب بسیار زیاد ۱۰۸ روز می‌باشد.




**شکل ۱۰) دوره‌ی بازگشت دوروزه بارش سالانه**




**شکل ۱۱) دوره‌ی بازگشت سه روزه بارش سالانه**

نقشه‌ی سالانه نشان می‌دهد دوره‌ی بازگشت بارش‌های مداوم دو روزه شکل (۱۰) از بخش شمالی کشور با ۶ روز آغاز می‌شود و به کوهپایه‌های البرز و زاگرس می‌رسد. از آنجا به تدریج افزایش یافته و تا جنوب‌شرقی‌ترین نقطه‌ی کشور امتداد یافته و با ۲۴ روز خاتمه پیدا می‌کند. برای بارش‌های مداوم سه روزه (شکل۱۱) همین مسیر از ۴۰ روز تا ۵۲۰ روز در مرکز دشت

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

لوت و تا ۴۸۰ روز در خلیج گواتر (جنوب‌شرقی‌ترین نقطه) بالغ می‌شود. واکاوی نقشه‌های دوره‌ی بازگشت دو روزه و سه روزه چند موضـوع را آشکار می‌سازد: ۱- از آن‌جا که دوره‌ی بازگشت فاصـله‌ی بین دو رخداد بارش (در این پژوهش دو روزه و سه روزه) و در واقع تعداد روزهای بدون بارش است، این مقدار برای نواحی بیابانی و نیم‌بیابانی کشور یعنی دامنه‌های جنوبی البرز و دامنه‌های شرقی زاگرس به سمت شرق، جنوب و جنوب‌شرقی کشور دستخوش نوسانات زیادی می‌گردد. عوارض متعددی همچون دشت‌ها، چاله‌ها، نواحی مرتفع، قله‌های منفرد و پراکنده و واحه‌ها هر کدام اثرات محلی بر افزایش یا کاهش رخداد و رخنداد بارش داشته به همین دلیل منحنی‌های هم دوره شیب های متفاوتی را نشان می‌دهند. ۲- دو توده‌ی بلند کوهستانی کشور یعنی البرز و زاگرس به دلیل موقعیت ویژه و آرایش مکانی خاص خود و قرارگیری در مسیر سامانه‌های بارش‌زا بویژه در دوره‌ی سرد سال و واقع شدن دریای مازندران در امتداد دامنه‌های شمالی البرز نوسانات کمتری در دوره‌ی بازگشت بارش‌های خود نشان می‌دهند. به‌طوری که نقشه‌ی بیشتر ماه‌ها دوره‌ی بازگشت بارش‌های متوالی دو روزه و سه روزه را برای تمام این مناطق یکسان نشان می‌دهد. در واقع شیب بسیار ناچیز بیانگر یکدست بودن این نواحی از نظر دوره‌ی بازگشت بارش‌های متوالی است. ۳- نکته‌ی مهمی باید به آن توجه داشت این است که آستانه‌ی در نظر گرفته شده برای این پژوهش ۰/۵ میلی‌متر است. در صورتی که آستانه‌ها کمتر از این مقدار مثلاً ۰/۱ میلی‌متر در نظر گرفته شود، قطعاً دوره‌ی بازگشت بارش‌های مداوم دو و سه روزه بسیار کوتاه‌تر نشان داده خواهد شد. این مهم در برنامه‌ریزی‌هایی که به منظور بهره‌برداری از منابع آب با در نظر گرفتن نیاز آبی کشور و با اهداف مختلف انجام می‌شود باید مورد توجه قرار گیرد.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش با کاربرد مدل زنجیره‌ی مارکوف مرتبه‌ی اول دو حالته ویژگی‌های مارکوفی بارش‌های ایران تحلیل و بررسی شد. داده‌ها مربوط به ۷۱۸۷ پیکسل و مدت ۱۵۹۹۱ روز است. تحلیل‌ها ۱۴٪ دوره‌ی مورد مطالعه را مرطوب و ۸۶٪ را خشک نشان داد. همچنین زمستان مرطوب‌ترین فصل، اسفند مرطوب‌ترین ماه، تابستان خشک‌ترین فصل و تیر خشک‌ترین ماه کشور تعیین شد. احتمالات اولیه، ایستا و اقلیمی نیز در این تحقیق بررسی شد. مقایسه‌ی احتمالات نشان داد، اختلاف‌ها بسیار جزئی بوده و در هیچ موردی به ۱٪ هم نمی‌رسد. و این نتیجه بدست آمد که روابط مورد استفاده از زنجیره‌ی مارکوف برای تعیین ویژگی‌های دوره‌های خشک و مرطوب از دقت کافی برخوردار بوده است. در این نوشتار همچنین دوره‌های بازگشت

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

دو روزه و سه روزه بارش محاسبه و نقشه‌های آن ترسیم شد. این نقشه‌ها نشان داد بطور کلی دوره‌های بازگشت بارش‌های دو روزه محتمل‌تر است اما از شمال‌غربی به جنوب‌شرقی کشور افزایش می‌یابد. دوره‌های بازگشت بارش‌های سه روزه بسیار طولانی بوده و در حوضه‌ی دریاچه‌ی هامون، دشت لوت و جلگه‌ی خوزستان به حداکثر می‌رسد.

## منابع و مأخذ


۱. هیگنز، مکنالتی (۱۳۷۹). **مفاهیم احتمال و مدل‌بندی تصادفی،** ترجمه علی مشکانی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ دوم.

۲. قادرمرزی، حسن (۱۳۸۰). **تحلیل و پیش‌بینی نوسانات آب و هوا در استان کردستان با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف،** پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران.

۳. رضیئی طیب، شکوهی علیرضا، ثقفیان بهرام (۱۳۸۲). **پیش‌بینی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌ها با استفاده از روش‌های احتمالاتی و سری‌های زمانی (مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان).** مجله بیابان، جلد ۸ شماره۲،۲۹۲-۳۱۰ .

۴. شیرخانی، علی‌رضا و حجازی زاده، زهرا (۱۳۸۴). **تحلیل پیش‌بینی آماری خشکسالی و دوره‌های خشک کوتاه مدت در استان خراسان،** پژوهش‌های جغرافیایی، جلد ۳۷ شماره ۵۲، ۱۳-۳۱.

۵. طاوسی تقی، خسروی محمود، قادری زه خالد (۱۳۸۹). **بررسی خشکسالی و تحلیل روند دوره‌های خشک کوتاه مدت ایرانشهربا استفاده از مدل زنجیره مارکوف در دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۵۹.** مجله علوم محیطی سال هفتم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۸۹، ۳۱-۴۴.

Gabriel, KR & Newman, J (1962). ***A markov chain model for daily rainfall occurrence in Tel Aviv***. Q. j. R .met.soc, 88 PP.90-95.

James, E. & Caskey, IR (1963). ***A Markov chain model for the probability of precipitation occurrence in intervals of various lengths***. Monthly Weather Review, Iune, 1963, 298- 301.

Haan, C. T & Allen, D. M (1976). ***A Markov chain model of daily rainfall***. Water Resour Res, 12, 443–449.


[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

Chin, E. H (1977). ***Modeling daily precipitation occurrence process with Markov Chain***. Water Resour Res, 13, 949–956, 1977.

Berger, A. and Goossens, C.H.R (1983). ***'Persistence of wet and dry spells at uccle*** (Belgium)'. J. climatol, 3, 21-34.

Mimikou, M (1983). ***Daily precipitation occurrences modeling with Markov chain of seasonal order***. Hydrological Sciences Journal des**,** (1983)28, 2, 6/1983.

Clarke, R.T. &.Karas, M.L (1989). ***Analytical relationships between rainfall and runoff***. Association of hydrological sciences at Baltimore, Maryland, U.S.A, May 1989.No 181:187-193.

Hess, G.D & [etal] (1990). ***Operational, short-term prediction of rainfall using a cycled Markov chain method***. Australian Meteorological Magazine, 38:3 September 1990, 201-205.

Nabi, G & Muhammad, F (1991). ***A Markov Chain Model for Rainfall occurrence In Pakistan***, Journal of Islamic Academy of Sciences, 4:2, 173-178, 1991.

Wilks, D.S. (1995). ***Statistical Methods in the atmospheric Sciences, An introduction***. Academic Press New York.

Jimoh, O.D & Webster, P (1996). ***The Optimum order of a Markov chain model for daily rainfall in Nigeria***. J.Hydrol, 185: 45-59.

Bekele, E (2002). ***Markov chain modelling and ENSO influences on the rainfall seasons of Ethiopia***. World Meteorological organization, 25-37, 2002.

Cazacioc, L & Cipu, E.C (2004). ***Evaluation of the transition probabilities for daily precipitation time series using a Markov chain model***. Mathematics in Engineering and Numerical Physics, Proceedings of the 3-rd International Colloquium. October (2004)7-9.

Selvaraj, R.S. & Selvis, T (2010). ***Stochastic Modelling of daily rainfall at ADUTHURAI***. International Journal of Advanced Computer and Mathematical Sciences, vol 1, Issue 1, Dec, 2010, pp 52-57.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]